



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2019/20

Nº de proyecto 289

Virtualización e impresión 3D de modelos anatómicos aplicados a la docencia y
planificación quirúrgica IV

Carmen Pérez Díaz

Facultad de Veterinaria

Departamento de Medicina y Cirugía Animal

1. OBJETIVOS PROPUESTOS EN LA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Tras cuatro años solicitando el proyecto INNOVA-DOCENCIA, nuestro equipo continúa con un objetivo claro: investigar y desarrollar al máximo las aplicaciones que las tecnologías de impresión y virtualización 3D podrían tener en las ciencias veterinarias. Este objetivo, aunque ambicioso, ha sido llevado a cabo día a día por las personas que forman parte de lo que hemos denominado “3DVetLab”. Un proyecto que comenzó como un interés por las tecnologías más punteras del sector de la imagen médica, se ha convertido en un constante afán de llegar más allá en el objetivo de replicar los resultados obtenidos por grandes investigadores del sector y desarrollar métodos propios de creación de recursos docentes y clínicos.

Este proyecto se planificó en dos grandes etapas, cada una de ellas enfocada a la enseñanza no presencial y presencial, respectivamente: 1) Virtualización de modelos anatómicos creando una biblioteca online, navegable y de acceso libre. 2) Impresión 3D de estos modelos anatómicos para su uso directo en sesiones prácticas de las asignaturas del grado de veterinaria, así como otras actividades académicas (títulos propios de la universidad y cursos de formación continuada). Además, buscábamos integrar el uso de estos recursos en la actividad clínica habitual del Hospital Veterinario Complutense de Madrid.

Cuando se presentó este proyecto a la comisión, consideramos fundamental para el éxito del mismo el cumplimiento de los siguientes objetivos:

1. Crear una herramienta docente muy novedosa en 3D, disponible en abierto, en inglés y de enseñanza virtual de la anatomía y la cirugía veterinarias.
2. Superar las barreras que actualmente existen (disponibilidad de cadáveres, toxicidad de los conservantes...etc.) en la preparación tradicional de modelos anatómicos durante las sesiones prácticas presenciales, sin perder realismo y favoreciendo en mayor medida el poder manipular e interactuar con los distintos materiales docentes, lo cual se conseguirá mediante la impresión 3D de los modelos anatómicos virtualizados.
3. Fomentar la colaboración de los alumnos en la fabricación de las piezas anatómicas que posteriormente se usarán en las prácticas. De este modo se familiarizarán con los métodos usados y valorarán los modelos anatómicos con los que trabajarán posteriormente.
4. Fomentar el aprendizaje de los alumnos en la creación de los modelos y el manejo de las impresoras.
5. Facilitar el autoaprendizaje, la comprensión y la adquisición de conocimientos de anatomía y cirugía veterinarias durante el proceso de enseñanza-aprendizaje no presencial y la autoevaluación. La característica de tridimensionalidad es la que facilitará el estudio sin presencia del profesor, sin ninguna duda.
6. Contribuir a la internacionalización de nuestros recursos docentes en 3D en la UCM, que puedan ser referencia para otras universidades e instituciones.
7. Conseguir una mejor preparación de los estudiantes antes de enfrentarse al ejercicio clínico profesional mediante el uso de modelos que por un lado faciliten la comprensión de los procedimientos realizados de forma habitual en la clínica veterinaria y que además permitan al alumno la realización de estos procedimientos antes de enfrentarse a un animal vivo.

Para poder alcanzar dichos objetivos, nuestro equipo ha ido incrementando el número de impresoras a su disposición, ha mantenido la colaboración con otros centros y también ha intentado implicar a un mayor número de alumnos ya que son una parte imprescindible en el mismo.

2. OBJETIVOS ALCANZADOS

Este cuarto año de andadura del proyecto ha estado marcado como el de todo el mundo por la pandemia. Aunque trabajamos durante todo el año, el grueso de nuestro trabajo comienza a partir de febrero, puesto que es en el segundo cuatrimestre cuando podemos poner a prueba los modelos que hemos intentado desarrollar anteriormente o en otros años con los proyectos anteriores. Esto lo llevamos a cabo tanto en el grado en la asignatura de cirugía general y anestesia de cuarto curso como en las prácticas del título propio de traumatología y ortopedia en pequeños animales; así como en la actividad clínica del hospital con los alumnos de último curso que estaban realizando el rotatorio clínico. Estos tres pilares para nuestro proyecto se desarrollan en el segundo cuatrimestre, y en el año 2020 no se pudieron llevar a cabo de forma presencial. Es por ello que se ha retrasado tanto la entrega de esta memoria, puesto que durante el año 2020 no pudimos llevar a cabo nuestros objetivos iniciales. Pretendíamos continuar durante este curso con todas estas actividades y poder presentarlas en la memoria. La pandemia sin embargo ha sido limitando nuestro trabajo este año, las practicas no las hemos podido desarrollar de forma presencial, el título propio no se ha llevado a cabo, y en mi caso no estoy llevando a cabo actividad clínica.

Nada más comenzar la pandemia decidimos poner nuestras impresoras y nuestros conocimientos para ayudar a los demás. Y es por ello por lo que iniciamos contacto con otros centros para ver como podíamos colaborar. Primero nos introdujimos en el grupo de Telegram "Coronavirus Makers" y después participamos con el grupo que se creo en la complutense, liderado finalmente por José Luis Corral. De aquella colaboración salió la impresión de soportes para pantallas faciales homologadas por la Comunidad de Madrid.

Tras la pandemia intentamos volver a la normalidad, pero nos ha resultado muy difícil. Tanto por la falta de estudiantes, protocolos covid y por estar con parte o toda la docencia en formato semipresencial/online.

Este año habíamos empezado a trabajar con nuevos materiales para impresión con el objetivo de crear nuevos modelos más realistas, entre ellos utilización de materiales flexibles para algunos órganos, como sistema digestivo o respiratorio. Por otro lado, uno de los principales objetivos que teníamos era terminar de crear y ver su utilizad en las prácticas de un modelo de extracción de líquido cefalorraquídeo (LCR) en cisterna magna y cisterna lumbar. La utilización de este modelo nos parece especialmente interesante ya que esta técnica no se puede practicar en cadáveres puesto que una vez ha fallecido el paciente el LCR no fluye y por lo tanto el alumno no puede saber si ha realizado bien o no la técnica. Además, como ya hemos expresado en otros proyectos cada vez es menor el número de cadáveres y resulta difícil conseguirlos para las prácticas. En los anexos se muestra el modelo en vías de desarrollo de la extracción de LCR en cisterna magna, así como el de extracción de LCR en cisterna lumbar. La idea era emplear ambos modelos en las prácticas del título propio en traumatología que hubo que suspender por la pandemia, y que en este curso no se ha llevado a cabo. Teníamos también un formulario de evaluación para los alumnos.

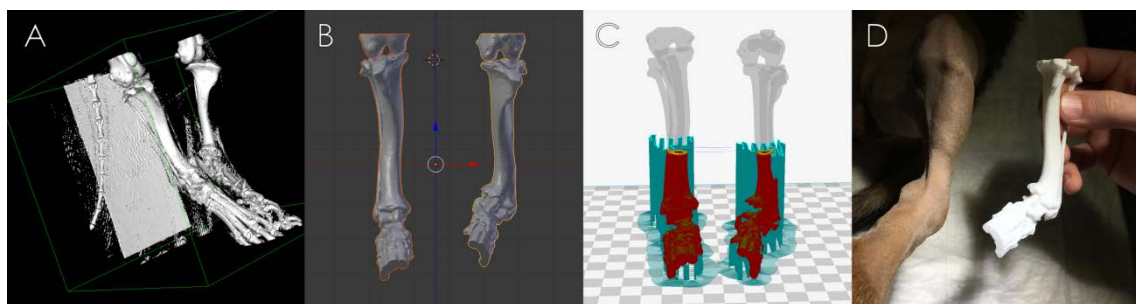
Al no poder haber alcanzado nuestros objetivos no nos pareció conveniente volver a solicitar otro proyecto este año, sino continuar trabajando con el material y las impresoras que conservamos de los proyectos anteriores. No podíamos afrontar nuevos retos, puesto que además tenemos problemas de personal formado para poder continuar con nuestros objetivos.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL PROYECTO

El método de trabajo de nuestro equipo para la obtención de modelos anatómicos parte siempre de la obtención de imágenes a partir de un estudio tomográfico computarizado. La adquisición de las imágenes en formato .DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*) se obtiene de estudios de TAC mediante colaboración con distintos centros de diagnóstico por la imagen. A partir de los archivos .DICOM y mediante el software “Invesalius” se obtienen mallas 3D. Para que estas mallas sean óptimas es necesario ajustar los valores de densidad adecuados a la estructura que se desea visualizar. Posteriormente la malla será exportada en formato .STL (Surface Tessellation Language) para poder ser procesada empleando el software “Meshmixer” y así subsanar posibles errores en la geometría del modelo que puede afectar a la calidad final de la impresión.

Al tratarse de modelos que van a ser manipulados virtualmente en dispositivos móviles u ordenadores con capacidad de procesamiento estándar, un número alto de polígonos supone un problema. Por ello, el modelo deberá ser retopologizado, lo que consiste en la reducción drástica del número de caras de un objeto virtual para que su procesamiento sea más rápido y eficaz.

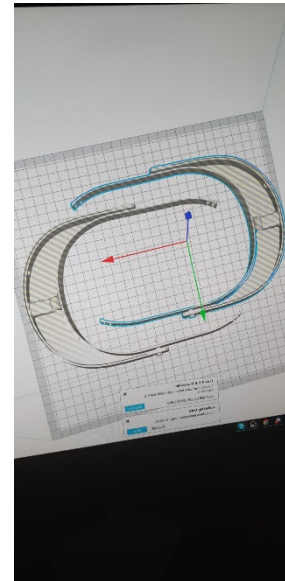
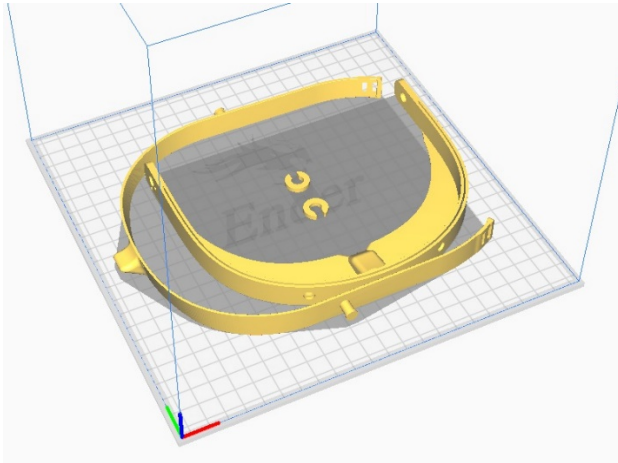
Además, vamos a poder eliminar las estructuras innecesarias para el modelo final o modificar las mallas, de manera que es posible crear patologías sobre estructuras sanas (p.ej. tumores, malformaciones, etc.). Por último, podemos añadir a nuestros modelos piezas creadas mediante diseño paramétrico utilizando el programa “FreeCad”, con el objetivo de crear modelos articulados.



Flujo de trabajo para la obtención de un modelo impreso

Durante la parada por la pandemia nos centramos en la colaboración para la impresión de pantallas faciales como ya hemos comentado en el apartado anterior. Para ello entramos en un grupo de colaboración mediante el que obtuvimos los archivos STL y después pasamos a formar parte del proyecto encabezado por José Luis Corral en la UCM, del que obtuvimos los modelos homologados para su impresión. Dada la situación que se planteó cuando comenzó a organizar a los makers las primeras cuestiones que tuvo que unificar para tener en cuenta que había que ser rápidos y efectivos fueron: crear un modelo, funcional, seguro y rápido de imprimir. Tuvo que definir un modelo, teniendo en cuenta que todas las impresoras serían diferentes y el modelo no debía contar con excesivos soportes o cualquier elemento que complicase su impresión. Inicialmente se planteó utilizar PET como material de construcción y una vez se determinó el proceso de desinfección se optó por el PLA para la impresión de las pantallas.

El diseño debía tener un grado de flexibilidad y resistencia óptimo, teniendo en cuenta que el personal sanitario estaba trabajando en una situación límite y cualquier complejidad en su colocación o ajuste, sería un hándicap en contra de la efectividad que se necesitaba en ese momento para las pantallas de protección.



Para la impresión de nuestros modelos 3D hicimos uso de las cuatro impresoras adquiridas gracias a la financiación aportada de los proyectos, una *LEGO3D*, una *CR10* y dos *Ender 3D* de *Creativity 3D*. Estas impresoras FDM extruyen un rollo de filamento de materia prima específica a través de una boquilla que funde y controla el flujo de material para crear una estructura continua de plástico fino. La materia prima puede ser un termoplástico tal como *Ácido Poliláctico* (PLA), *Acrilonitrilo Butadieno Estireno* (ABS), Nylon o, alternativamente, material a base de caucho o derivados metálicos. Las líneas finas del plástico caliente se disponen consecutivamente en numerosas capas delgadas que siguen una trayectoria predeterminada para el objeto.

Todos los modelos destinados a docencia, así como los soportes para las pantallas faciales fueron impresos en PLA con una altura de capa de 100µm a una temperatura de 208°C diseñando piezas de soporte que dieran estabilidad al modelo, ya que se trataba de piezas complejas de geometría orgánica. Los prototipos diseñados para la creación de ortesis fueron impresos en Nylon con una altura de capa de 400µm a una temperatura de 265°C en el extrusor y 85°C en la base de impresión, con el objetivo de que los modelos sean lo más reales posible. Podremos modificar el porcentaje y tipo de relleno de nuestros modelos en aquellos casos en que vayan a ser utilizados para las prácticas de cirugía con el objetivo de que sean lo más semejantes posible a huesos reales. También se empezó a investigar sobre impresión en resina, así como otros materiales más flexibles.

4. RECURSOS HUMANOS

Siempre hemos intentado dividir el trabajo en función de la experiencia de cada integrante del equipo.

Los profesores de cirugía han seguido encargados de la búsqueda de casos clínicos necesarios para crear modelos útiles para su impresión 3D. Estos casos provenían de la consulta del hospital clínico veterinario complutense y eran remitidos a diferentes centros de diagnóstico por imagen puesto que en nuestro hospital no contamos con un TAC, imprescindible para la obtención de las imágenes. Durante el primer cuatrimestre se hacía uso de estos modelos tanto en las clases teóricas como prácticas de las asignaturas de grado y títulos de postgrado de la unidad docente. También han creado las encuestas para la evaluación de los modelos usados. Durante el segundo cuatrimestre y debido al paso a la docencia online o en algunos casos a la suspensión de esta, se intentó dar mayor énfasis al uso de los modelos virtuales creados en la plataforma Sketchfab, pero no era nuestro objetivo este curso, ya que estábamos centrados en otra cosa, y por lo tanto no hemos tenido capacidad suficiente de reacción. Dentro de nuestros objetivos también estaba el uso de programas enfocados a la práctica virtual de cirugías sobre nuestros modelos, pero no hemos podido avanzar mucho en este tema aún.

La impresión de los soportes para las pantallas faciales ha sido llevada a cabo por una de las estudiantes de último curso que con permiso de la facultad y de la decana, se llevó las impresoras a su casa, ya que no estaba permitido permanecer dentro del hospital. De esta forma pudimos contribuir en gran medida a este proyecto.

Cuando comenzó la pandemia estábamos en pleno proceso de formación de los estudiantes que se acababan de incorporar. Como ya hemos comentado en otras ocasiones los estudiantes van dejando el proyecto por motivos laborales, cuando ya están formados, y desgraciadamente nos está costando la transferencia de información de unos estudiantes a otros. La parte técnica de manejo de las impresoras siempre ha estado en sus manos, no en la del personal fijo del centro, ni profesores ni PAS. Este año esto ha supuesto un verdadero problema, que intentaremos solventar con cursos de formación para intentar poder continuar con la consecución de nuestros objetivos.

Las nuevas incorporaciones se han encargado principalmente de la investigación sobre nuevos materiales para la creación de nuevos modelos para las prácticas. También han estado trabajando en sus casas con los modelos de extracción de LCR para poder articularlos, e intentar conseguir que sean lo más reales posibles (cubrirlos con distintos materiales y flujo del líquido); así como en el mantenimiento de las impresoras.

Los miembros del PAS adscritos a este proyecto han colaborado en las diferentes tareas de acuerdo a las necesidades del momento y sus conocimientos.

5. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

A la hora de llevar a cabo el proyecto las tareas se han estructurado de la siguiente manera:

En primer lugar, se ha procedido a la obtención de la información, principalmente mediante archivos de Tomografía Computarizada, empleando casos clínicos propios del hospital o existentes en la base de datos del centro de TAC.

Nuestra estudiante de último curso ha procesado los archivos digitales para crear una malla 3D a partir de la información obtenida previamente. Posteriormente, la malla ha sido procesada usando el programa “Blender” obteniendo así un modelo realista de la región anatómica que objeto de estudio. Además de obtener la malla 3D, esta deberá ser optimizada considerando el uso posterior que se hará del mismo. Cuando generamos un modelo a partir de una tomografía de alta definición obtenemos mallas virtuales con varios millones de polígonos. Al tratarse de modelos que van a ser manipulados virtualmente en dispositivos móviles u ordenadores con capacidad de procesado estándar, un número tan elevado de polígonos supone un gran problema. Por ello, el modelo deberá ser retopologizado. Esta retopologización consiste en la reducción drástica del número de caras de un objeto virtual para que su procesado sea más rápido y eficaz.

Para realizar una impresión 3D de los diferentes modelos virtuales, nuestro objetivo ha sido lograr mallas con un elevado número de polígonos, para conservar el máximo detalle. En algunas ocasiones resultó beneficioso imprimir modelos con interior anatómicamente realista, pero en la mayoría de casos fue necesario crear una copia hueca del modelo, evitando así errores y gasto de material.

Este año íbamos a trabajar principalmente en la creación de dos modelos nuevos:

Un modelo de extracción de LCR en cisterna magna (Figura 1 en anexos), creado por segmentación de estudios tomográficos a partir de un animal vivo. Para este modelo la dificultad deriva de que, una vez impresas las diferentes piezas, principalmente el cráneo y la primera y segunda vertebrales cervicales, estas necesitaban unirse y que pudieran articularse entre sí. Para realizar la extracción de LCR el cuello debe doblarse para que se abra la cisterna magna, por lo que necesitamos que el modelo sea móvil, o que en su defecto estuviera ya doblado en el ángulo correcto, lo cual era técnicamente muy difícil. También nos planteamos si imprimir el cráneo completo o simplemente la fosa caudal (parte posterior del cráneo). Evidentemente es mucho más realista un cráneo completo, pero presentaba dos desventajas, el tiempo de impresión y la cantidad de material necesario. En el momento en que nos quedamos parados estábamos trabajando con el proyecto en el que solo estaba impresa la fosa caudal y el cráneo tenía una forma de bola y estábamos trabajando en el montaje articulado de las piezas, así como en el recubrimiento o inclusión dentro de un peluche como habíamos hecho con el modelo de tórax el año anterior. También queremos añadir algún método por el que al pinchar saliera líquido imitando la realidad. En este momento estamos probando con un sistema de suero, así como un frasco de antibiótico al vacío.

Un modelo de extracción de LCR de cisterna lumbar (Figura 2 en anexos). Para ello estamos empleando un modelo previamente creado para la práctica de anestesia epidural que fue utilizada por los compañeros de anestesia en sus prácticas y que ya ha sido presentada en nuestro segundo año de andadura (proyecto 123 año 2017/18). En aquel momento los compañeros no estaban contentos con el resultado puesto que estaba recubierto por una silicona demasiado dura, por lo que estábamos intentando trabajar en ese problema. Además, el modelo creado era fijo, y de nuevo para la

extracción hay que doblar la columna, por lo que comenzamos a trabajar en un modelo articulado que fuera más realista.

Como ya hemos comentado durante el parón provocado durante el confinamiento y que ocupo gran parte del periodo correspondiente a este proyecto colaboramos con la impresión de pantallas faciales para protección (Figura 3 en anexos).

También hemos seguido realizando el material que ayuda a la impartición de las prácticas de la asignatura de cirugía general y anestesia del grado en veterinaria, como soportes para ayudar a la fijación de sistemas de suero donde practicar diferentes técnicas quirúrgicas, moldes para la realización de modelos con siliconas, y otros. Este año estas prácticas se han realizado en formato online y se ha proporcionado dicho material a los alumnos para que lo pudieran realizar desde su casa.

En el Título Propio de "Diploma de Especialización en Traumatología y Cirugía Ortopédica de Pequeños Animales (15ª edición)" en el mes de septiembre, se consiguieron realizar parte de las prácticas que habían sido suspendidas, tanto con los alumnos del Título Propio con los alumnos de Grado que participaron como colaboradores, con modelos óseos de la especie canina impresos en 3D. Estas prácticas consistieron en el empleo de estos modelos para la simulación de fracturas, que posteriormente los alumnos solucionaban, o con patologías óseas (p.ej. deformaciones anatómicas) sobre las que los alumnos debían planificar una corrección quirúrgica y su posterior resolución práctica (Figuras 4 a 7 en anexos).

Nos hemos encontrado con más dificultades aún que el año anterior para la adquisición por parte de los nuevos estudiantes de los conocimientos necesarios para poder manejar las impresoras y contribuir a la creación de nuevos modelos. Cuando los alumnos llegan a los últimos cursos se marchan de la universidad y a veces es complicado, como es lógico mantener su implicación. Al principio contábamos con dos personas muy formadas, pero una de ellas se marchó. Este año solo nos quedaba una que también se ha marchado. Por supuesto la pandemia ha influido negativamente en este proceso.

Por otro lado, también nos enfrentamos con problemas a la hora de realizar el mantenimiento de las impresoras. Al tener más impresoras y por otro lado contar con algunas que ya llevan tres años funcionando, su mantenimiento se ha convertido en algo que cada vez requiere más tiempo por nuestra parte, y que a su vez nos limita. En ocasiones nos hemos encontrado con las impresoras averiadas y con la imposibilidad de continuar trabajando. Estos parones han hecho que muchos de nuestros objetivos no se hayan alcanzado al nivel que nos hubiera gustado. También nos ha hecho plantearnos que quizás necesitaríamos más recursos humanos si queremos continuar con este proyecto. Es por ese motivo que para el curso 2020-21 decidimos no solicitar un nuevo proyecto de innovación al no ser capaces de asumirlo.

6. Anexos

Encuesta

ENCUESTA DE VALORACIÓN DE MATERIAL DOCENTE: EMPLEO DE UN MODELO IMPRESOS EN 3D PARA LA EXTRACCIÓN DE LCR EN EL PERRO

Edad:

Sexo:



¿Tienes experiencia previa en la realización de esta técnica en el animal vivo?):

¿Tienes experiencia previa en la realización de esta técnica en cadáver?:

Marque cada opción entre 1 (totalmente en desacuerdo) y 5 (totalmente de acuerdo):

	1	2	3	4
Estos modelos impresos en 3D me facilitan la comprensión de la técnica				
Los modelos impresos en 3D son fáciles de utilizar				
Considero que los modelos impresos en 3D son una herramienta útil para el estudio de cirugía				
Estos modelos impresos en 3D me parecen más (5) o menos (1) útiles que la práctica en cadáver				
El modelo de extracción impreso en 3D ofrece la posibilidad de entender las relaciones topográficas con estructuras vecinas				
Si has realizado alguna vez la técnica en animal vivo: La calidad de las características anatómicas en el modelo de extracción de LCR impreso en 3D es equivalente al animal vivo				
En general, considero útiles los modelos impresos en 3D				

Sugerencias:

¡Muchas gracias!
3D VetLab

Imágenes

Fig. 1: Modelo en 3D de extracción de LCR en cisterna magna

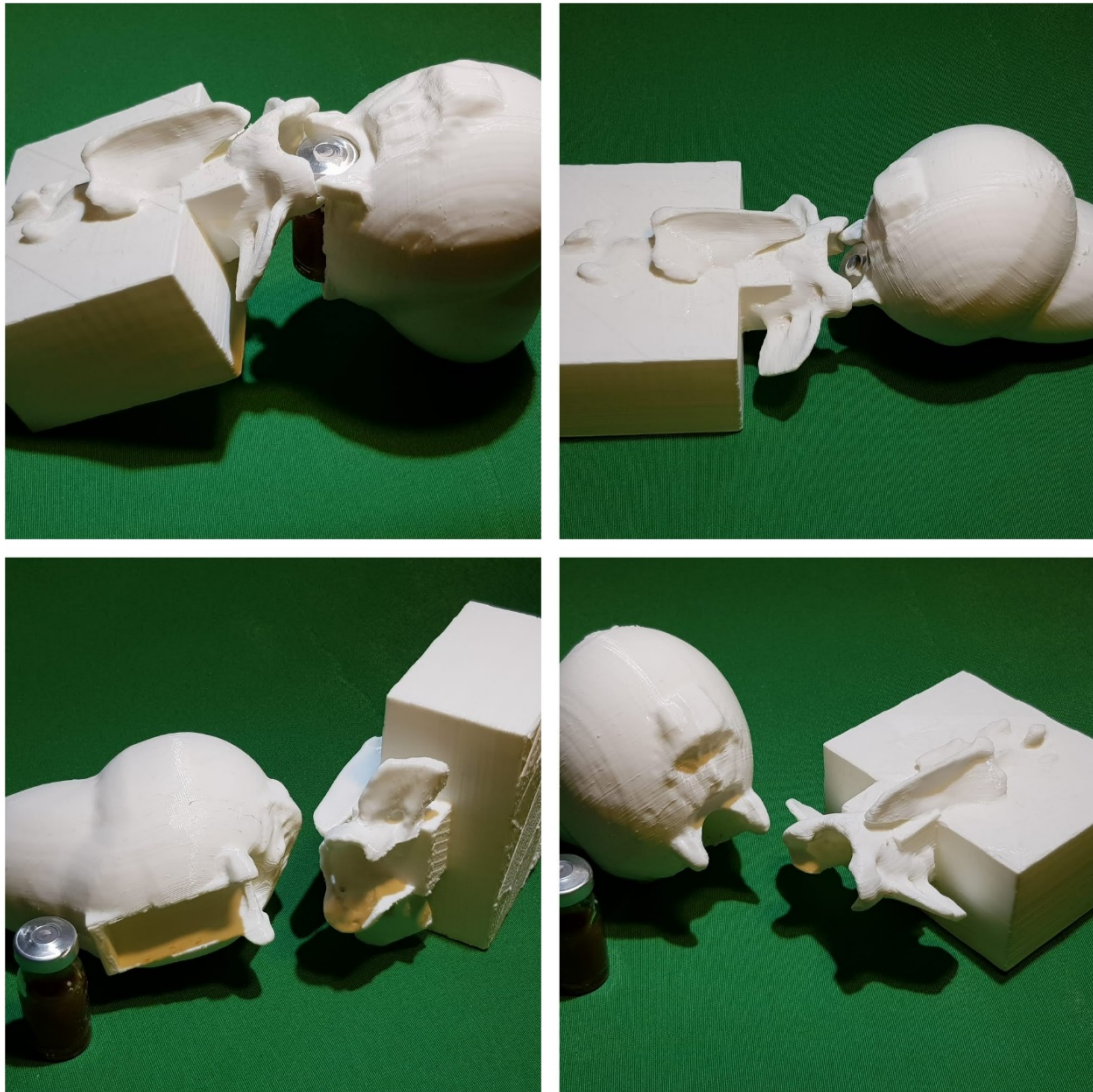


Fig. 2: Modelo en 3D de extracción de LCR en cisterna lumbar



Fig. 3: Pantallas faciales



Fig. 4: Detalle de la osteotomía del olécranon en un modelo 3D de cúbito de la especie canina.



Fig. 5: Detalle de la colocación de 2 agujas de Kirschner de 1,2 mm de diámetro para lograr la alineación anatómica del olécranon sobre el cúbito.

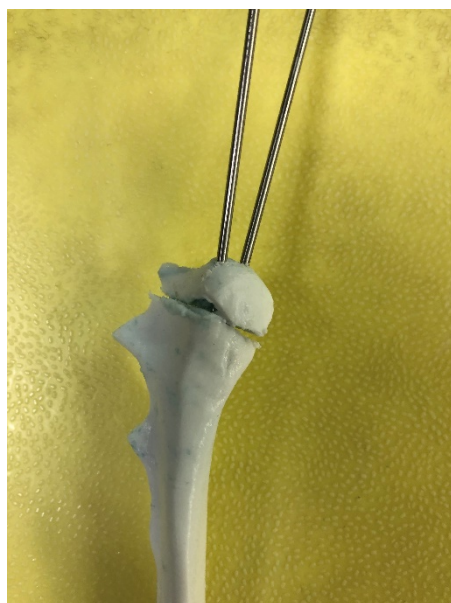


Fig. 6: Detalle de la reducción quirúrgica de la fractura de olécranon con una banda de tensión (Vista lateral).



Fig. 7: Detalle de la reducción quirúrgica de la fractura de olécranon con una banda de tensión (Vista caudal).

